

В.П. Маршуба, канд. тех. наук,

Украинская инженерно-педагогическая академия,
г. Харьков

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В СТРУЖКЕ ПРИ ГЛУБОКОМ СВЕРЛЕНИИ АЛЮМИНИЕВ

Исследовано распределение потоков и стоков теплоты в стружке при глубоком безвыводном сверлении литейных алюминиевых сплавов на агрегатных станках. На основе полученных закономерностей распределения теплоты, разработана гипотеза её вторичного перераспределения. Использование данных закономерностей позволит определять необходимые условия обработки отверстий при максимальной производительности при обработке деталей из этих сплавов.

Введение. Особенностью обработки глубоких отверстий является то, что стружка, полученная при срезе, проходит длинный путь, пока не будет удалена из зоны обработки, причем по мере заглубления режущего инструмента в деталь этот путь увеличивается. Так как объёмы удаляемой стружки велики, а объем стружечных канавок невелик, возникает возможность накопления фрагментов стружки и элементов нароста в этих канавках под действием силы трения и адгезионного взаимодействия обрабатываемого и инструментального материала. Особенно увеличивается влияние адгезионного взаимодействия с возрастанием температуры в зоне обработки из-за вторичного перераспределения потоков теплоты. Связано это с тем, что при обработке глубоких отверстий на агрегатных станках с подачей смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС) методом полива проникающая способность СОТС невелика, из-за двигающихся навстречу из зоны резания потоков стружки и пароводяной смеси. Все это вместе взятое приводит к увеличивающейся продолжительности контакта фрагментов стружки и элементов нароста с обработанной поверхностью отверстия и поверхности режущего инструмента, то есть часть теплоты, перешедшая в стружку, которая получена при её срезе и деформации, возвратится в деталь или режущий инструмент, увеличивая температуру в зоне обработки.

Известно, что алюминий обладает повышенной адгезионной активностью, особенно при повышенных температурах, т.е. под действием теплоты, перешедшей в стружку, элементы стружки взаимодействуют между собой с деталью и режущим инструментом вызывают закупорку стружечных канавок. После торможения стружка уплотняется под действием сжимающих усилий от только что срезанных элементов, закупоривает стружечную канавку. После этого пустоты между фрагментами стружки уменьшаются, следовательно, увеличивается площадь контакта, что, в свою очередь, ведет к еще большему разогреву этого участка.

Кроме этого, из-за недоступности зоны резания в процессе обработки невозможно контролировать процесс накопления фрагментов стружки и элементов нароста в стружечных канавках стандартных спиральных сверл. Поэтому необходимо установить, какое количество теплоты, переходит в стружку при её срезе и деформации (первичное перераспределение теплоты), и какое теряется стружкой в процессе транспортировки (вторичное перераспределение теплоты). Этот анализ позволит более точно определять влияние теплоты на протекание физических явлений как в зоне резания, так и в зоне обработки, что позволит существенно повысить стойкость режущего инструмента, а следовательно, производительность обработки такой группы отверстий.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованиями вопроса возникновения источников тепла и распределения потоков и стоков теплоты при резании материалов занимались видные ученые, среди которых Я.Г. Усачов и др. В изданиях, посвященных теплофизике процесса обработки металлов резанием, вышедших за последнее время, в частности в работе П.А. Юдковского [1], приведены данные по распределению потоков теплоты в детали, инструменте и стружке при неглубоком сверлении в алюминиях. Исходя из анализа результатов исследовательских работ по данному вопросу, приходим к выводу, что в зависимости от скорости резания и подачи количество теплоты, которое остается в детали достигает в среднем 70%, переходит в стружку – 20%, и в инструмент – до 6%, остальное рассеивается, т.е. уходит в окружающую среду. Однако физические процессы, протекающие при обработке глубоких отверстий, коренным образом отличаются от таких же процессов при неглубоком сверлении. Вызвано это тем, что с изменением условий транспортировки стружки из зоны резания меняются сами преобладающие физиче-

ские явления под воздействием увеличивающейся температуры в зоне обработки. Этот процесс ещё недостаточно изучен и требует определения количества теплоты, переходящего в стружку при срезе, а также покидающего стружку в процессе транспортировки.

Цель исследований. Установить закономерности распределения теплоты в стружке при глубоком безвыводном сверлении литейных алюминиев в зависимости от глубины обработки отверстий. На основе найденных закономерностей распределения теплоты в стружке уточнить, какое количество теплоты, полученной в процессе среза и деформации стружки, переходит в нее, а затем возвращается в деталь и режущий инструмент в зависимости от глубины обработки отверстий.

Изложение основного материала. При глубоком безвыводном сверлении (ГБС) отверстий в литейных алюминиях распределение теплоты в стружке отличается от такого же распределения теплоты при свободном резании. Как отмечалось ранее, стружка теряет теплоту, полученную в результате среза и деформации материала по мере перемещения её в стружечных канавках.

На основе процентного распределения теплоты в системе деталь-инструмент-стружка в работах А.П. Резникова [2, 3] приведена схема первичного образования теплоты при срезе и пластическом деформировании материала, направление её потоков и стоков (рис. 1, а). Но такие данные, имеющиеся в этих работах, как отмечалось ранее, приведены только для отверстий глубиной до $3d$ (рис. 1, а), тогда как при ГБС алюминия, по мнению автора [4], схема распределения потоков теплоты должна быть отличной приведенной выше (рис. 1, б).

Процесс стока теплоты стружки зависит напрямую от глубины отверстия и растянут по времени, так как связан с образованием "рыхлых" и "плотнупакованных" пакетов стружки, степени проникновения СОТС в зону обработки и коэффициента теплопроводности обрабатываемого материала. Кроме этого, при ГБС нельзя измерить температуру в стружке из-за недоступности зоны обработки и невозможности наблюдения самой зоны резания. Температуру в стружке можно определить только аналитически, исходя из того, что в стружку переходит половина количества теплоты, образовавшаяся в результате действия первичного источника теплоты (срез и деформация стружки). Приблизленно ко-

личество теплоты, приходящее в стружку, можно определить из общего уравнения теплового баланса

$$Q_C = Q_O - Q_D - Q_{И}.$$

Более точное определение количества теплоты, приходящее в стружку в процессе резания, можно определить аналитическим путем, исходя из схемы первичного и вторичного распределения тепловых потоков (рис. 1).

Исходя из схемы распределения количества теплоты при срезе и транспортировке стружки (рис. 1) определяем количество теплоты, перешедшее в стружку в зоне резания, которое зависит от двух источников теплоты ($Q_{ТПС}$ и $Q_{РС}$), а уходящее из стружки в зоне обработки - от двух стоков (Q'_C и Q''_C). Поскольку мощность источника пропорциональна силе трения и скорости скольжения, то суммарная мощность источника ($Q_{ТПС}$) может быть рассчитана по формуле, приведенной в работе [3]

$$Q_{ТПС} = 0,039 F_{ТПС} V_C = 0,039 F_{ТПС} \frac{V}{k},$$

где V_C – скорость скольжения стружки, м/мин; $F_{ТПС}$ – сила, действующая на поверхности A_γ , Н.

Значение силы $F_{ТПС}$ определяем по формуле, исходя из законов механики процесса резания

$$F_{ТПС} = (P_Z - F_{ТЗ}) \sin \gamma + (P_O - N_3) \cos \gamma,$$

где $F_{ТПС}$ и N_3 – сила трения и нормальная сила, действующие по площадке контакта поверхности A_α с поверхностью A_γ .

Следовательно

$$Q_{ТПС} = 0,039 ((P_Z - F_{ТЗ}) \sin \gamma + (P_O - N_3) \cos \gamma) \frac{V}{k}.$$

Количество теплоты, перешедшее в стружку от ее среза и деформации ($Q_{РС}$) определяем по уравнению 1.

По данным работ [2, 3] точное количество теплоты, перешедшее в стружку в результате ее деформации (Q_{dc}), можно определить по формуле

$$Q_{ТПС} = 0,039 ((P_Z - F_{ТЗ}) \sin \gamma + (P_O - N_3) \cos \gamma) \frac{V}{k}, \quad (1)$$

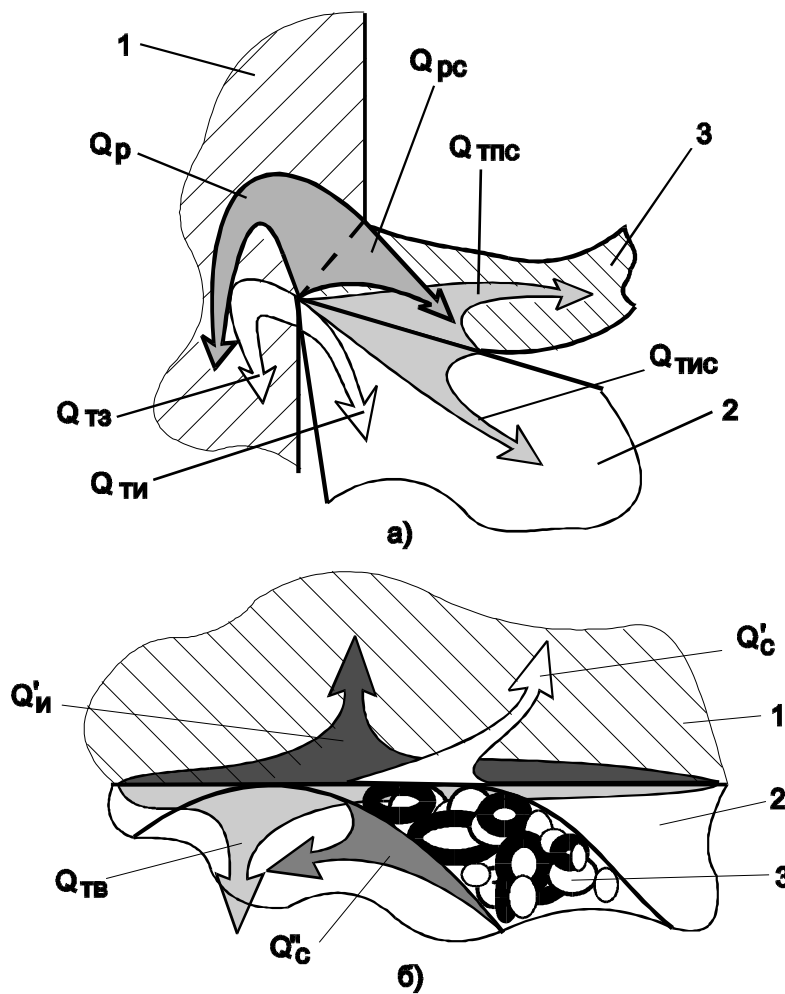


Рис. 1. Схема распределения тепловых потоков при сверлении отверстий: а) неглубоких, по данным работ [2, 3]; б) глубоких, по данным автора; 1 - обрабатываемая деталь; 2 - режущий инструмент; 3 - стружка

где k – коэффициент продольной усадки стружки, $k = 0,2$; qd – интенсивность источника теплоты, возникающего под воздействием деформации стружки

$$qd = 3,9 \frac{V \cos \gamma}{abk \sqrt{k^2 - 2k \sin \gamma + 1}} \times [(P_z - 0,252 \sigma_B b \ell_3)(k - \sin \gamma) - (P_N - 0,252 \sigma_B b \ell_3) \cos \gamma],$$

где b^* – доля теплоты в том теле, по которому перемещается источник, отсюда

$$b^* = \frac{1}{1 + 1,33 \frac{k \sqrt{\sin \beta}}{\sqrt{Re_d}}},$$

где Re_d – безразмерный критерий Пекле для источника, эквивалентного теплоте деформации

$$Re_d = \frac{1}{6} \cdot \frac{V_a}{\omega}.$$

Величину стоков (Q'_c и Q''_c) определяем по экспериментальным значениям, полученным в результате проведения опытов, следовательно

$$Q'_c = Q''_c = \frac{1}{3} Q_c.$$

Из проведенного аналитического расчета распределения потоков и стоков теплоты в стружке в зависимости от глубины отверстия установлена вторичная конвенция теплоты из стружки в инструмент и деталь. Наличие вторичной конвенции подтверждается результатами опытов по определению температуры в детали и сверле проведенных автором. Кроме этого установлена взаимосвязь влияния физических явлений, протекающих в зоне резания и в зоне обработки, на распределение теплоты в стружке, их прямое влияние на повышение или понижение количества теплоты в стружке (см. рис. 2).

Из рис. 2 видно, что распределение теплоты при глубоком безвыводном сверлении условно можно разделить на несколько зон.

Для зоны I (зона резания) характерно распределение потоков и стоков теплоты, которое присуще для неглубокого сверления, получаемое стружкой при её срезе и деформации.

Для зоны II (зона образования "рыхлых пакетов" стружки или от $2d$ до $3d$) характерно распределение потоков и стоков теплоты, присущее как для неглубокого, так и глубокого сверления, то есть эта зона является переходной. В данном случае имеет место разогрев зоны обработки за счет передачи части теплоты от стружки в деталь и режущий инструмент, кроме этого, инициируется адгезионное взаимодействие. Результаты опытов по определению закономерностей распределения потоков и стоков теплоты в зоне I и II полученные автором, подтверждаются рядом исследовательских работ по теплофизике процесса резания.

В зоне III (зона обработки от $3d$ до $4d$) распределение потоков теплоты в стружке отлично от зоны I и II, т.е. соответствует вторичному перераспределению теплоты в системе деталь – инструмент – стружка, под действием передачи большого количества теплоты от стружки и наиболее активного адгезионного взаимодействия, которое описывается формулой

$$Q_c = Q_{pc} + Q_{тпс} - Q'_c - Q'_и .$$

Для зоны IV (зона обработки от $4d$ до $5d$) распределение потоков и стоков теплоты в стружке отлично от зоны III и соответствует резкому снижению тем-

пературы в зоне обработки под воздействием СОТС, т.е. основное количество теплоты выводится из системы деталь – инструмент – стружка.

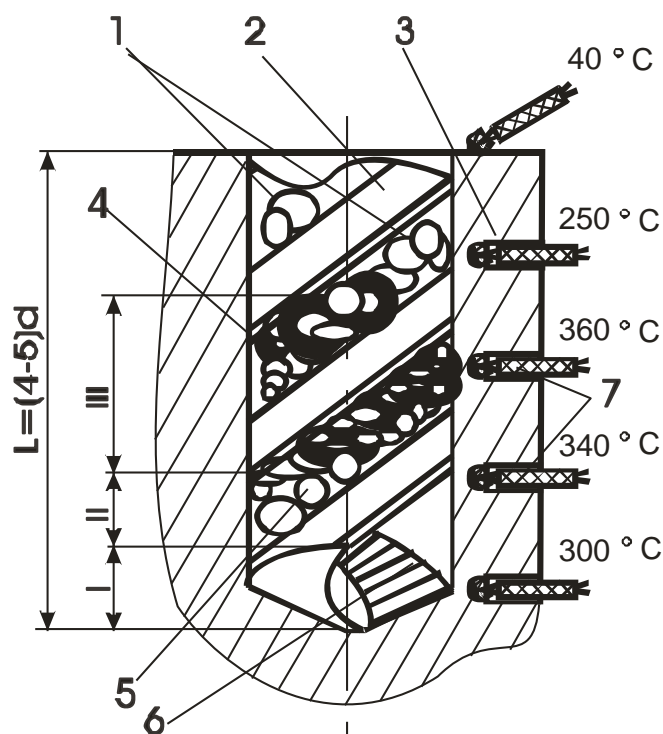


Рис. 2. Схема образования пакетов стружки и замера температуры при обработке глубоких отверстий в алюминиевых сплавах по данным работы [4]: 1 - фрагменты элементной стружки и частиц нароста; 2 - спиральное сверло; 3 - обрабатываемая деталь; 4 - плотные пакеты стружки; 5 - сливная стружка; 6 корень стружки; 7 - термопары. I – зона резания и образования сливной стружки с наростами; II – зона образования "рыхлых пакетов" стружки; III – зона образования "плотных пакетов" стружки; IV – зона активного вывода теплоты под действием СОТС

Следовательно, на основании опытных данных, делаем вывод, что при ГБС отверстий с подачей СОТС в зону обработки методом полива возможно появление вторичной конвенции теплоты из стружки в деталь и режущий инструмент. Эта конвенция основана на закономерностях перехода некоторого количества теплоты от более разогретого участка к менее разогретому. Количество переходящей теплоты напрямую зависит от площади контакта поверхности стружки с поверхностями детали и режущего инструмента, и его продолжительности, что, в свою очередь, инициирует процессы адгезионного взаимодействия так, как они взаимосвязаны. Как следствие этого, уплотняется стружка и увеличивается площадь контакта. Поэтому данный процесс можно назвать цепной реакцией, так как изменение одного параметра ведет к неизбежному изменению другого, что, в свою очередь, требует неизбежного прироста первого.

Выводы

1. На специально разработанной моделирующей установке были установлены основные закономерности распространения тепловых потоков и стоков в стружке при глубоком безвыводном сверлении стандартными сверлами с элементами дробления стружки в зависимости от глубины отверстия.
2. Установлено опытным путем распределение потоков и стоков теплоты в стружке в зависимости от зоны обработки.
3. В процессе проведения опытов по распределению потоков и стоков теплоты в стружке, была установлена закономерность распределения в детали и инструменте температурных полей в зависимости от вторичного перераспределения теплоты.
4. Установлены причины и механизм вторичной конвенции теплоты из стружки в инструмент и деталь, ее зависимость от глубины отверстия и степени проникновения СОТС в зону обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдковский П.А., Крючков И.К., Шевель А.П. Повышение качества спиральных сверл. – Челябинск: Южно-Уральское кн. изд., 1970. – 110 с.
2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1981. - 279 с.
3. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.
4. Маршуба В.П., Дрожжин В.И. Вторичное перераспределение потоков и стоков теплоты в зоне обработки при глубоком безвыводному сверлении алюминия. НТУ “ХПИ”. // “Резание и инструмент в технологических системах”: Междунар. наук.-техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2001. Вып. №59. - С. 163-166.

Поступила в редакцию

10.01.05